

明 細 書

接合方法及びこの方法により作成されるデバイス並びに接合装置

技術分野

- [0001] 本発明は、ウェハーなどの複数の被接合物を陽極接合により張り合わせる技術に関する。

背景技術

- [0002] 従来、Siとガラスのウェハー接合において、両ウェハーを接触させた状態でガラス側をカソードとして電圧を印加し、かつ400℃～500℃程度の高温に加熱することで陽極接合させる方法が知られている。従来方式では大気中を搬送して陽極接合するため、表面への有機物の付着などは避けられない。強度は図5に示すように200℃では3MPaと弱く、そのため400℃程度の高温加熱により9MPa程度に強度をアップさせている。すなわち従来の陽極接合では高温の加熱を併用しなければならない。
- [0003] また、特許文献1に示す常温接合方法では金属同士をArイオンビームによりエッチングし、表面活性化させた状態で常温で接合する例が示されている。しかし、この方法では、表面の有機物や酸化膜を除去して金属のダングリングボンドで電氣的活性化された面を作りだし原子間力により接合するため、半導体であるSiや特に酸化物であるガラスやSiO₂は強固に接合できない。
- [0004] また、特許文献2に示すように被接合物を対向配置し、プラズマ処理した場合には、必ずどちらかの被接合物側がプラズマ電極となり、反応ガスイオンが加速されて衝突するため、有機物層を取り除く物理的なエッチングには適するがOH基などの化学処理には強すぎて向かない。
- [0005] また、陽極接合が良く使われるアプリケーションとして、図8に示すように高周波デバイスやMEMSデバイスは片側や両側から封止する方法がよく用いられる。
- [0006] 特許文献1:特開昭54-124853号公報
特許文献2:特開2003-318217号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0007] 従来の陽極接合方法では、表面には少なくとも幾らかは有機物が再付着しており、陽極接合時には界面に少なくともいくらかの有機物層が挟まれている。本来、ガラスが軟化する200℃程度まで加熱すれば電圧印加による陽極接合で強固に接合できるはずであるが、有機物層が付着しているため400℃〜500℃程度の高温加熱で有機物を分解することにより始めて接合強度が上がっていることが分かる。また、真空中での接合では無いのでエアボイドの噛み込みの問題もあった。また、従来の方法では陽極接合に数時間を要するため、生産効率が悪かった。また、接着剤など使って仮接合するとSiとガラス間に異物を噛むことになるので陽極接合できなくなる。特に高精度に位置を合わせて接合するMEMSデバイスなどでは効率が悪いまま生産するしかなかった。
- [0008] また、特許文献1に示す常温接合方法では、表面の有機物や酸化膜を除去して金属や半導体の電氣的活性化された面を作りだし原子間力により接合するため、金属以外のSi半導体や特に酸化物であるガラスや SiO_2 は強固に接合できない。また、常温であるが故に、軟化していないので、微小なパーティクルからなるゴミや表面の平坦度うねりにより接合できない隙間や残留応力を残すために接合強度不足の部分をつくってしまうことになる。そのため、低温でも数時間のアニーリングを加えて残留応力を除去してやる必要がある。また、これらの隙間を埋めて接合するために高圧で押し付け、うねりや隙間を密着させる必要があり、300MPa以上のかかなりの高圧を併用する必要がある。
- [0009] また、特許文献2に示すように被接合物を対向配置し、プラズマ処理した場合には、必ずどちらかの被接合物側がプラズマ電極となり、反応ガスイオンが加速されて衝突するため、有機物層を取り除く物理的エッチングには適するがOH基などの化学処理による表面活性化には強すぎて向かない。以上のように洗浄と吸着の双方を満足する方法は無い。
- [0010] また、図8に示すように高周波デバイスやMEMSデバイスの片側や両側から封止する方法において、一般的に良く使われる材料で例をあげると、Siの片側または両側をガラスで陽極接合して封止する構造となる。しかし、3枚構造でも片側から順番に陽極接合していくことになるのでSiとガラスの線膨張係数の差から図9(a)に示すよ

うに接合時の加熱によりそりが発生してしまい、最悪割れることになる。

- [0011] そこで本発明の課題は、被接合物同士の接合面を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるエネルギー波により表面活性化処理した後、低温のもと両被接合物を陽極接合する接合方法及び接合装置を提供することにある。また、常温のもと仮接合する工程または装置と、加熱を加えて本接合する工程または装置を分離する方法及び接合装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0012] 上記課題を解決するための本発明に係る接合方法及び接合装置双方の手段を一括して以下に説明する。
- [0013] 上記課題を解決するために本発明は、被接合物同士の接合面を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるエネルギー波により表面活性化処理した後、両被接合物を陽極接合する接合方法からなる(請求項1)。
- [0014] また本発明は、電圧印加手段と、加熱手段とを有し、被接合物同士の接合面を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるエネルギー波により表面活性化処理した後、両被接合物を陽極接合する陽極接合手段を備えた接合装置からなる(請求項19)。
- [0015] 陽極接合とは、接触させた両被接合物間に電圧を印加し、電圧印加により可動可能なイオンに分解する元素を混入した材料間の静電気力により接合界面を密着させ、加熱することにより少なくとも一方の材料を軟化密着させ、共有結合させる方法である。エネルギー波による表面活性化処理とは、原子ビーム、イオンビームまたはプラズマで接合界面を活性化状態にして接合しやすくする処理を示す。
- [0016] 表面活性化による接合原理は次の考え方ができる。金属のような物質においては表面の有機物や酸化膜など付着物をエッチング除去して、活性な金属原子のダングリングボンドを表面に生成することで、他方のダングリングボンド同士で接合させる。また、Siまたはガラス、 SiO_2 、セラミック系を含む酸化物である場合は、酸素や窒素プラズマによる親水化処理により、接合表面をOH基で活性化し、他方のOH基同士で接合させる。プラズマの場合は減圧プラズマ以外にも大気圧下で処理できる大気圧プラズマもあり容易に扱える。本発明はこれらの接合原理に従い、エネルギー波により

表面活性化した後、陽極接合することにより、より低温で、かつ、接合強度をアップすることであり、また、表面活性化による仮接合後に工程または装置を分離した陽極接合で本接合することにより、生産効率をアップし、その発生しない3層構造の接合を可能とするところにある。

[0017] なお、表面活性化及び陽極接合を行う環境は、特に限定されるものではなく、真空中であっても大気中であっても本発明に含む。また、本発明は、表面活性化装置を接合装置と別に分離した状態も含む。

[0018] なお、前記接合面がお互いに密着し合う面形状をしており、前記接合表面にパーティクルが1つ以上乗っており、陽極接合する接合方法であってもよい。また、前記接合面がお互いに密着し合う面形状をしており、前記接合表面にパーティクルが1つ以上乗っており、陽極接合する接合装置でもよい。

[0019] 前述のように微小パーティクルを挟み込んでも陽極接合であれば加熱によるガラスの軟化や静電気力による密着で隙間なく接合することができる。また、前記本接合時に300Mpa以下の加圧力で陽極接合する方法からなる。また、前記本接合時に300Mpa以下の加圧力で加圧する加圧手段を備え、陽極接合する接合装置からなる。前述の常温接合においては材料が軟化していないので300Mpa以上の加圧力が必要となるが、陽極接合による加熱と静電気力により300Mpa以下での接合、例えば100Mpaで接合が可能となる。

[0020] また本発明は、両被接合物を接合時または接合後に400℃未満で加熱する請求項1に記載の接合方法からなる(請求項2)。

[0021] また本発明は、両被接合物を接合時または接合後に400℃未満で加熱する請求項19に記載の接合装置からなる(請求項20)。

[0022] ここで、200℃以下であればさらに好適である。

[0023] 加熱手段においても400℃以上に加熱する手段は特殊なヒータを選定する必要がある、難しい。図5に示すように、従来の大気搬送後にガラスとSiを陽極接合する方法では真空中で接合しても200℃で3MPaの接合強度しか無く、400℃の高温に上げてやっと9MPaの強度を得ることができた。これは大気搬送中に有機物が付着し、有機物層を含んだ接合面を含むため接合強度が上がらず、400℃の高温に上げて有

機物を分解して始めて接合強度がアップしている。

- [0024] しかし、真空中でArエッチングによるドライ洗浄後、大気に暴露することなく引き続き真空中で陽極接合されたものは、常温でも6MPaの接合強度であり、200℃で10MPaと従来の400℃の加熱と同等以上の十分な接合強度を得ることができた。ちなみにArイオンビーム処理後の高真空中での接合強度を測定すると常温で5MPa、400℃加熱してもそのまま接合強度が従来方法以上に上がらないことが分かる。ここでの接合強度は測定方法により倍近い強度を示す場合もあり、比較的低い強度データではあるが比較データとして用いる。また、詳細は後述するが、図6における他の表面活性化方法においても200℃以下での良好な接合結果が得られている。
- [0025] また本発明は、前記表面活性化処理した後、大気に暴露することなく両被接合物を陽極接合する請求項1または2に記載の接合方法からなる(請求項3)。
- [0026] また本発明は、エネルギー波処理手段と陽極接合手段とが減圧チャンバー中に備えられ、前記表面活性化処理した後、大気に暴露することなく両被接合物を陽極接合する請求項19または20に記載の接合装置からなる(請求項21)。
- [0027] エネルギー波により表面をエッチングし、付着物を除去し、基材の新生面が露出した状態で大気に暴露することなく、続いて両被接合物を接触させ、電圧を印加し、加熱して陽極接合を行うため、有機物の付着も無く、基本的に接合力は電圧印加によることでSi-Oなどの共有結合が行われる。一方がガラスである場合、加熱はガラスを軟化させ、相手側被接合物に隙間無く倣わせるために必要な温度で良く、200℃程度で十分となる。また、被接合物同士の平坦度、平面度が出ていれば軟化させる必要もなく常温でも接合強度はそれなりに上がる。
- [0028] また本発明は、前記エネルギー波が減圧プラズマであり、表面活性化処理後、同じチャンバー内で連続して被接合物同士を真空中で接触させ陽極接合を行う請求項3に記載の接合方法からなる(請求項4)。
- [0029] また本発明は、前記エネルギー波が減圧プラズマであり、プラズマ処理手段と陽極接合手段が同一減圧チャンバー中に備えられ、表面活性化処理後、同じチャンバー内で連続して被接合物同士を真空中で接触させ陽極接合を行う請求項21に記載の接合装置からなる(請求項22)。

- [0030] エネルギー波による表面活性化処理と陽極接合を行うチャンバーを分割してハンドリングすることも可能であるが、例えば同じチャンバー内で両被接合物を上下電極に対向保持し、Arなど反応ガスによるプラズマエッチング後、連続してプラズマ電源を陽極接合電源と切り替えることにより同じ電極でそのまま使え、1チャンバーで済むのでコンパクト、コストダウンにつながる。また、他のエネルギー波に比べ高真空まで引く必要が無い。また、接合が真空中であるのでボイドの噛み込みも防ぐことができる。
- [0031] なお、前記プラズマが交番電源を用いる方法及び装置であってもよい。交番電源を用いることにより、プラスイオンとマイナス電子が交互に被接合物表面にあたるため、中和され、他のエネルギー波に比べチャージアップなどのダメージが少ない。そのため、半導体や各デバイスには好適である。
- [0032] また本発明は、前記エネルギー波によりエッチングする量は1nm以上である請求項1〜4のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項5)。
- [0033] また本発明は、前記エネルギー波によりエッチングする量は1nm以上である請求項19〜22のいずれかに記載の接合装置からなる(請求項23)。
- [0034] 被接合物表面に存在する付着物はウェット洗浄後においても大気に暴露すると数秒で1nm以上付着することから少なくとも1nm以上エッチングすることが有効である。
- [0035] また本発明は、前記表面活性化処理した後、陽極接合する接合方法であって、常温のもと表面活性化により仮接合した後、工程または装置を分離して陽極接合による本接合を行う請求項1または2に記載の接合方法からなる(請求項6)。
- [0036] また本発明は、前記表面活性化処理した後、陽極接合する接合装置であって、エネルギー波により表面活性化する手段を備え、常温のもと表面活性化により仮接合した後、工程または装置を分離して陽極接合による本接合を行う請求項19または20に記載の接合装置からなる(請求項24)。
- [0037] 常温とは、従来低温で金属接合できる代表的なハンダが183℃で接合できるのに対し、さらなる低温での接合が可能となる150℃以下での接合を示し、室温であることがより好ましい。従来からの接合方法は接着剤を使用したり、高温加熱により拡散接合する方法が知られている。接着剤は仮接合することができるが、MEMSのような

微細な構造体の接合や、半導体のような電氣的接合には使用できない。また、接着力も弱かったり、ガスを放出したり、水分を吸収するなどデメリットも多い。また、拡散方法では、高温であるため、材料の耐熱の問題や異種材料間の接合では線膨張係数の差からそりが発生したり、最悪割れるという問題が残る。

[0038] しかし、エネルギー波により表面活性化処理し、表面活性化されたものを常温で直接接合できればこれらの課題は解決できる。ところが、常温であるが故、量産材料の表面粗さやうねりによる残留応力やひずみを除去しないと接合強度はアップしないので、仮接合には容易に使用できるが、本接合するためには、加熱のもと数時間アニーリングして接合強度をアップする必要がある、これをひとつの工程または装置で行うと量産効率は低下する。そのため、常温で張り合わせる仮接合工程と加熱による本接合工程を分離し、別装置で行うことで量産効率をアップすることができる。前述のように、表面活性化処理とは、エッチングによる付着物除去と親水化処理を含む処理を示し、特にSiやガラス、 SiO_2 、セラミックではエッチングによる表面活性化は仮接合にしか使用できなく、親水化処理にも適するので好適である。

[0039] また本発明は、仮接合の工程の数1に対し、複数の本接合の工程をバランスさせる請求項6に記載の接合方法からなる(請求項7)。

[0040] また本発明は、前記仮接合を行う装置または工程の数1に対し、複数の前記本接合を行う装置をバランスさせる請求項24に記載の接合装置からなる(請求項25)。

[0041] 1台の仮接合を行う装置または工程に対し、複数の本接合を行う装置でラインバランスをとることでさらに量産効率をアップすることができる。たとえば、仮接合に10分かかり、本接合に1時間を要する場合は、仮接合の装置1に対し、本接合の装置を6並べることで10分に1枚の接合が可能となる。コスト的にも6台の仮本一体装置を並べるより、1台の仮接合の装置と単純に電圧印加して加熱するだけの本接合の装置を6台並べるほうが圧倒的にコウトダウンできる。

[0042] また本発明は、3個以上の被接合物を重ねて接合する接合方法であって、線膨張係数が等しい被接合物で、線膨張係数の異なる被接合物を両側から挟み込む請求項6または7に記載の接合方法からなる(請求項8)。

[0043] また本発明は、線膨張係数が等しい被接合物で、線膨張係数の異なる被接合物を

両側から挟み込み、3個以上の被接合物を重ねて陽極接合する接合装置であって、中央部材から両端部材に向けて電圧を同時に印加する手段を持つ請求項24または25に記載の接合装置からなる(請求項26)。

[0044] 図8に示すように、高周波デバイスやMEMSデバイスにおいては、片側を封止する方法(同図(a))と両側を封止する方法(同図(b))があるが、図9(a)に示すように、片側を封止する方法では、2つの材料の線膨張係数の差からそりが発生する。一方、図9(b)に示すように、線膨張係数が等しい被接合物で、線膨張係数の異なる被接合物を両側から挟み込んだのち加熱すれば、両サイドから相反する力で打ち消すため、そりは発生しなくなる。

[0045] しかし、従来の方法では、張り合わせ精度を出すためにはひとつずつ加熱して接合していくしか方法がなかった。これは、接着剤を使わずに仮止めするために治具でクランプすることになるが、位置がずれたり、クランプするスペースがなかったりして問題があった。そのため、表面活性化により常温で仮接合する方法を用いれば、図9(b)に示すように3つ以上の部材を両側を線膨張係数の等しい材料で挟み込んで、位置精度をだして常温仮接合させた後、加熱して本接合することでそりなく高精度に接合することができる。もちろん仮接合装置に対し、複数の本接合装置を並べることで生産効率を上げることができる。

[0046] また本発明は、前記仮接合を減圧チャンバー中で、減圧下またはガス置換された中で接合し、前記本接合を大気中で行う請求項6〜8のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項9)。

[0047] また本発明は、減圧チャンバーを備え、前記仮接合を前記減圧チャンバー中で、減圧下またはガス置換された中で接合し、前記本接合を大気中で行う請求項24〜26のいずれかに記載の接合装置からなる(請求項27)。

[0048] 図8に示すような内部を真空または不活性ガスで封止するデバイスにおいて、仮接合を減圧チャンバー中で減圧雰囲気またはガス置換雰囲気で行えば、本接合は大気中で行っても、仮接合状態で封止されているので大気が混入することはない。特に親水化処理で接合している場合は水が界面に介在しているので封止効果も高い。そのため本接合は大気中に行え、コストダウンと効率アップが達成される。

- [0049] また本発明は、前記エネルギー波がプラズマである請求項6〜9のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項10)。
- [0050] また本発明、前記エネルギー波がプラズマであり、プラズマ処理手段を備えた請求項24〜27のいずれかに記載の接合装置からなる(請求項28)。
- [0051] また、エネルギー波が減圧または大気圧プラズマであれば、他のエネルギー波に比べて容易な真空度で扱え、コストダウンできる。また、大気圧プラズマであればより容易に扱える。但し、接合材料によっては減圧プラズマ処理をしないと接合できないものもあり、接合には優位である。
- [0052] また本発明は、前記プラズマが減圧プラズマであり、処理後、同じチャンバー内で連続して被接合物同士を真空中で接触させ仮接合を行う請求項10に記載の接合方法からなる(請求項11)。
- [0053] また本発明は、前記プラズマが減圧プラズマであり、減圧可能な真空チャンバーとプラズマ発生手段とプラズマ反応ガス供給手段を備え、処理後、同じチャンバー内で連続して被接合物同士を真空中で接触させ仮接合を行う請求項28に記載の接合装置からなる(請求項29)。
- [0054] 減圧プラズマ処理と接合を行うチャンバーを分割してハンドリングすることも可能であるが、図1や図11に示すように、同じチャンバー内で両被接合物を上下電極に対向保持し、プラズマ処理後、連続して仮接合することで、1チャンバーで済むのでコンパクト、コストダウンにつながり、また、仮接合が真空中であるのでボイドの噛み込みも防ぐことができる。また、前記プラズマが交番電源を用いる方法からなる。また、前記プラズマが交番電源を用いる接合装置からなる。交番電源を用いることにより、プラスイオンとマイナス電子が交互に被接合物表面にあたるため、中和され、他のエネルギー波に比べチャージアップなどのダメージが少ない。そのため、半導体や各デバイスには好適である。
- [0055] また本発明は、前記プラズマにより接合面を親水化処理し、仮接合する請求項10または11に記載の接合方法からなる(請求項12)。
- [0056] また本発明は、前記プラズマにより接合面を親水化処理し、仮接合する請求項28または29に記載の接合装置からなる(請求項30)。

- [0057] 親水化処理による接合原理を図10に示す。図10(a)に示すように酸素プラズマなどによる親水化処理によりSi表面にOH基を付着させる。次に図10(b)に示すように両被接合物を接触させ、水素結合により仮接合する。続いて図10(c)に示すように加熱により H_2O を放出させ、 Si-O-Si の強固な共有結合を得る。プラズマ処理により親水化処理して接合する方法がSiやガラス、 SiO_2 、セラミック系を含む酸化物接合には簡易で有効である。
- [0058] 表面にOH基を生成し、両表面のOH基により水素結合させて仮接合できる。強固に本接合するにはその後数時間の加熱が必要となるが、仮接合であれば瞬時に完結する。また、図8に示すような封止を伴う接合においても親水化処理した仮接合が界面に水を伴うので封止性に優れている。親水化処理には一般的に酸素プラズマや窒素プラズマが使用され、大気圧プラズマでも接合が可能である。強固に接合することはそれなりに条件出しが難しいが、仮接合レベルでよい場合は親水化処理による接合は比較的容易にでき仮接合には適している。
- [0059] また本発明は、プラズマにより親水化処理時または処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスを混入させた後、仮接合する請求項12に記載の接合方法からなる(請求項13)。
- [0060] また本発明は、水ガス発生手段を備え、プラズマにより親水化処理時または処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスを混入させた後、仮接合する請求項30に記載の接合装置からなる(請求項31)。
- [0061] H_2O またはH、OH基を含むガスを水ガスとも呼ぶ。通常、酸素プラズマにより処理し、大気中を搬送されると雰囲気中には水分が含まれるため、自然とOH基が作られるが、不純物や有機物の付着を避けるために真空中で大気に暴露することなく仮接合まで進める場合には、水分が不足してOH基が十分作られない場合が生じる。そのため、酸素プラズマ処理時または処理後接合までの間に H_2O またはH、OH基を含むガスを供給することが有効である。水ガスをそのまま供給することもできるが、水ガスを酸素に混入するか、酸素プラズマ処理後、連続して水ガスを反応ガスとしてプラズマ処理することで活性化し、より有効である。
- [0062] また本発明は、前記プラズマによる親水化処理をイオン衝突力を高めた物理処理

後、大気に暴露することなくイオン衝突力を弱めた化学処理を行う請求項12または13に記載の接合方法からなる(請求項14)。

[0063] また本発明は、被接合物に対するイオン衝突力を切り替える減圧プラズマ処理手段を備え、前記プラズマによる親水化処理をイオン衝突力を高めた物理処理後、大気に暴露することなくイオン衝突力を弱めた化学処理を行う請求項30または31に記載の接合装置からなる(請求項32)。

[0064] プラズマ処理による洗浄工程をプラズマ処理後半においてイオン衝突力を弱めてプラズマ処理を行うことにより、親水化処理がうまく行われる。通常のプラズマ処理においては物理処理により不純物を除去し、化学処理により表面にOH基を付けて並べたり、窒素などの置換が行われるが、せっかく表面に化学処理されたものがイオン衝突力が強いので除去され、表面を均一に化学処理することは難しい。

[0065] そこで、プラズマ処理後半において、イオン衝突力を弱めてプラズマ処理することにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に化学処理を行い、表面活性化処理を行うことができる。そのため、低温で接合強度を増すことができ、しかも仮接合をしやすくなる。また、プラズマ処理後半とは時間的に半分とは限らず時間に関係しない意味を持つ。また、プラズマ処理前半と後半は間隔があっても良いが、連続された方が化学処理上好ましい。

[0066] また本発明は、前記物理処理をArまたは CF_4 プラズマにより行う請求項14に記載の接合方法からなる(請求項15)。

[0067] また本発明は、前記化学処理を酸素または窒素プラズマにて行う請求項14に記載の接合方法からなる(請求項16)。

[0068] また本発明は、前記物理処理をArまたは CF_4 プラズマにより行う請求項32に記載の接合装置からなる(請求項33)。

[0069] また本発明は、前記化学処理を酸素または窒素プラズマにて行う請求項32に記載の接合装置からなる(請求項34)。

[0070] エネルギー波により表面をエッチングし、付着物を除去し、基材の新生面が露出した状態で大気に暴露することなく、続いて酸素プラズマにより親水処理することで、有機物層を伴わない親水処理ができる。そのため、水素結合力による接合後の強度や

アニーリング後の強度も弱い有機物層からの剥がれが無い場合、拡散させなくとも水素結合後の H_2O を放出させるための低温でのアニーリングのみで十分な接合強度を得ることが可能となる。図6に示すように、従来の大気搬送後の酸素プラズマ処理で接合する方法では常温で3MPaの接合強度で200℃で6MPa、400℃で9MPaとなっている。これは大気搬送中に有機物が付着し、有機物層を含んだ接合面を含むため接合強度が上がらず、拡散によってのみ強度アップしている。物理処理とは、表面層がエッチングされる現象、及びイオン分子が表面層に衝突することにより表面分子と置き換わる現象や表面に付着する現象を示す。例えばArプラズマによりArイオンが付着層をエッチングする行為であり、また、酸素プラズマにおいて酸素イオンが表面層と置き換わったり付着することを示す。化学処理とは、活性なラジカルやイオン衝突力の弱まった活性なイオンにより表面層が化学反応により処理される現象を示す。

[0071] しかし、真空中でArエッチングによるドライ洗浄後、大気に暴露することなく引き続き酸素プラズマにより親水化処理されたものは、常温でも5MPaの接合強度であり、200℃で8MPaと十分な接合強度を得ることができた。ちなみにArイオンビーム処理後の高真空中での接合強度を測定すると常温で5MPa、400℃加熱してもそのままと接合強度が従来方法以上に上がらないことが分かった。物理処理で使用するプラズマとしては不活性であるArを使用すればどのような素材に対しても影響なく、原子重量も大きいのでエッチング力も高く好適である。また、被接合物がSi、 SiO_2 、ガラス、セラミックである場合には、プラズマ反応ガスとして CF_4 を使用するとより効率的な素材をエッチングすることができ、適する。化学処理で使用するプラズマとしては、酸素を使用することでOH基が付着し易くなり好適である。また、窒素を使用しても、同様にOH基を付着させることができる。

[0072] また、前記エネルギー波によりエッチングする量は1nm以上である前述方法及び接合装置からなる。被接合物表面に存在する付着物はウェット洗浄後においても大気に暴露すると数秒で1nm以上付着することから少なくとも1nm以上エッチングすることが有効である。

[0073] なお、イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段を備え、プラズマ処理後半においてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進する接合方法、および、接合装置であつ

てもよい。

- [0074] プラズマ処理による親水化処理する工程をプラズマ処理後半においてイオン衝突力を弱めてプラズマ処理を行うことにより、通常のプラズマ処理においては物理処理により不純物を除去し、化学処理により表面にOH基を付けて並べたり、窒素などの置換が行われるが、せっかく表面が化学処理されてもイオン衝突力が強いので除去され、表面を均一に化学処理することは難しい。
- [0075] そこで、プラズマ処理後半において、イオン衝突力を弱めてプラズマ処理することにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に化学処理を行い、表面活性化処理を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。低温とは、従来方法では400℃以上必要であり、それ以下である400℃以内で接合できるので好ましい。
- [0076] なお、前記接合温度が200℃以下である接合方法及び接合装置であってもよい。図5に示すように200℃での接合が可能であり、より好ましい。また、プラズマ処理後半とは時間的に半分とは限らず時間に関係しない意味を持つ。また、プラズマ処理前半と後半は間隔があっても良いが、連続された方が化学処理上好ましい。特に、物理処理とはOH基を付着させる前処理として不純物を除去するためのエッチングであるが、ここではOH基を付着させる工程において、イオン衝突力を切り替えることにより、物理処理により酸素を付着させ、化学処理によりOH基付着を増進させることであり、効率良くOH基を付着させることを目的とする。
- [0077] また、イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、プラズマ電極を被接合物保持電極と対向面電極の2箇所に切り替え可能に配置したものからなり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行い、次いで対向面電極側に電源を印加してイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う接合方法、及び、接合装置であってもよい。
- [0078] プラズマ電極側では、電界が作られるためイオンが加速して衝突するのでイオン衝突力が増し、電極と対向面ではイオンは加速衝突しないのでイオン衝突力は低い。加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進される。プラズマ電極を被接合物保持電極と対向面電極の2箇所に切り替え可能に配置し、被接合

物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行い、次いで対向面電極側に電源を切り替えてイオン衝突力の弱いプラズマ処理を行うことにより、不純物を除去し、かつ、イオン衝突力を弱めることにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。

[0079] 従来の被接合物保持電極のみにプラズマ電源を印加した場合と、被接合物保持電極と対向面電極を切り替え処理した場合の温度と接合強度の違いを図6に示す。従来方法では十分な強度を得るのに400℃必要であったが、本方式では400℃以内である常温から200℃以内で十分な接合強度を得ることができた。また、対向電極とは、平行平板型のように対向配置しても良いが、電極以外の周囲に配置しても同様な効果が表れる。また、スパッタエッチングによる電極材料の再付着を避けるためには、対向面より側面の方が好ましい。本文でいう対向面電極とはこれらの周囲の部位に電極を配置することも含む。

[0080] また、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、V_{dc}が調整可能であるRFプラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてV_{dc}値を変化させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法、及び、接合装置であってもよい。

[0081] プラズマ電極側では、電界が作られるが、V_{dc}値によりイオンが衝突する速度が変わる。例えば+酸素イオンはV_{dc}値が-である程加速されイオン衝突力は増加し、0に近づく程、速度は遅くなり、イオン衝突力は低下し、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進される。V_{dc}値を一側に大きくしてプラズマ処理を行い、次いでV_{dc}値を0に近づけ吸着工程を行うことにより、プラズマ処理後半に、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理を行うことにより、不純物を除去し、かつ、イオン衝突力を弱めることにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。接合結果も図6と同様な結果が得られた。

[0082] また、イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、パルス幅が調整可能であるパルス波プラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてパ

ルス幅を変化させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法、及び、接合装置であってもよい。

[0083] プラズマ電極側では、電界が作られるが、パルス幅を調整することにより＋イオンが衝突する－電界の時間と、衝突が弱まる－電界が弱い時間との間隔を調整することができる。－電界の時間を多くすると＋イオンの衝突は強められ、－電界の時間を少なくすると＋イオンの衝突は弱められる。

[0084] 例えば、＋酸素イオンは－電界の時間を長くする程加速されイオン衝突力は増加し、－電界の時間を短くする程速度は遅くなり、イオン衝突力は低下し、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進される。パルス幅を調整して－電界の時間を多くしてプラズマ処理を行い、次いで－電界の時間を短くしてプラズマ処理を行うことにより、イオン衝突力を強めた減圧プラズマ処理後、イオン衝突力を弱めた減圧プラズマ処理にて、不純物を除去し、かつ、イオン衝突力を弱めることにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化を行うことができる。そのため、低温で接合強度を増すことができる。接合結果も図6と同様な結果が得られた。

[0085] なお、前記処理工程後に複数の被接合物を大気中で接合面同士を密着させ接合する接合方法、及び、接合装置であってもよい。この場合、プラズマ処理後半にてイオン衝突力を弱めることにより化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化処理を行うことができる。既に接合表面にはOH基や窒素置換などの化学処理が施されているので大気中でも接合することができる。

[0086] さらに、前記処理工程後に複数の被接合物を減圧中で接合面同士を密着させ接合する接合方法及び表面活性化装置であってもよい。一旦大気圧に戻して吸着層を付けたとしても、真空チャンバー中で減圧して両被接合物を密着させ接合させることにより、空気を接合界面に巻き込むことなくボイドレスで接合させることができるので好ましい。

[0087] また、イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、2つの減圧プラズマ照射手段を切り替える手段であり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行う第1のプラズマ照射手段と、プラズマ処理後半において別室で発生したプラズマ

をイオンをトラップしてラジカルを照射する第2のプラズマ照射手段に切り替えて、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う接合方法、及び、接合装置であってもよい。

[0088] 図12に示すように被接合物となるウェハー503をプラズマ電源となる被接合物保持電極に保持した状態で、まず、RFプラズマ電源501を印加して被接合物にイオン衝突による物理処理を行う。続いて上部の表面波プラズマにより、より多く発生されたラジカル504を、イオントラップ板502を通してダウンフローに照射する。イオントラップ板502により、イオン505は捕獲されるため、ラジカル504がより多く照射させることができ、より化学処理が促進される。なお、図12において、500は表面波プラズマ発生手段、506は真空チャンバー、507は反応ガス供給口、508は排気口、509は被接合物保持電極、510はマイクロウェーブ電源、511は表面波プラズマ発生領域、512はRFプラズマ発生領域である。

[0089] また、イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマと大気圧プラズマを切り替える手段であり、被接合物表面を減圧プラズマにてイオン衝突力を高めて処理した後、大気圧プラズマにてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う接合方法、及び、接合装置であってもよい。

[0090] プラズマ処理を減圧プラズマと大気圧プラズマに分けることにより、減圧プラズマ処理においては物理処理により不純物を除去し、化学処理により表面にOH基を付けて並べたり、窒素などの置換が行われるが、せっかく表面に化学処理されたものがイオン衝突力が強いので除去され、表面を均一に化学処理することは難しい。

[0091] そこで、減圧プラズマ処理後に大気圧プラズマ処理を行うことにより、大気圧プラズマでは、真空中のようにイオンが電界により加速できないのでイオン衝突力は弱く、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に化学処理を行い、表面活性化処理を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。低温とは、従来方法では400℃以上必要であり、それ以下である400℃以内で接合できるので好ましい。なお、前記接合温度が200℃以下である接合方法及び表面活性化装置であってもよい。図6に示すように200℃での接合が可能であり、より好ましい。

- [0092] なお、反応ガスが酸素と窒素を含んだ混合ガスからなる接合方法、及び、接合装置であっても構わない。
- [0093] 窒素を含むガスを使用することにより、イオン衝突力を弱めた化学処理において、OH基のみならず、OとNを含んだ基が生じる。そのことにより接合時に界面にSi、O、Nの化合物が生成され、常温においても強固な接合が可能となる。図6に酸素反応ガスの場合と酸素と窒素を含んだ反応ガスの場合の比較を示す。酸素のみの場合は、200℃程度加熱しないと強固な接合にはならないが、酸素と窒素が混合されたものでは常温から100℃でも強固な接合が可能となる。
- [0094] なお、プラズマ反応ガスをプラズマ処理後半に異なるガスまたは異なる配合ガスを使用する接合方法、及び、接合装置であってもよい。プラズマ処理後半に異なるガスまたは異なる配合ガスを使用することにより化学処理に優位なガスを使用することができ好ましい。例えば、プラズマ処理前半にArガスを用い、後半に酸素ガスを用いることで効率よいプラズマ処理が可能となる。さらに、前半に酸素ガスを用い、後半に窒素ガスを用いることもできる。また、単に異なるガスを使用しなくとも、Arと酸素の混合ガスを使用し、前半ではArを多めに後半では酸素を多めに配合すれば良い。また、酸素と窒素の混合ガスを使用した場合は、前半では酸素を多めに後半では窒素を多めに配合すれば良い。
- [0095] また、プラズマ反応ガスが、酸素を含んだ反応ガスを用い、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理時に窒素を含んだ反応ガスに切り替える接合方法、及び、接合装置であってもよい。
- [0096] イオン衝突力を弱めた化学処理において、窒素を含むガスを使用することにより、OH基のみならず、OとNを含んだ基が生じる。また、プラズマ処理前半においても幾分OH基は付着しているので、イオン衝突力を弱めた化学処理時にOH基とNとの置換が行われる。化学処理とは置換も含む処理を意味する。そのことにより接合時に界面にSi、O、Nの化合物が生成され、常温においても強固な接合が可能となる。本方式においても図6と同様な良好な結果が得られた。
- [0097] なお、接合時の加熱温度が100℃以下で固層で接合する接合方法及び表面活性化装置であってもよい。さらに、接合時の加熱温度が常温で固層で接合する接合方

法、及び、接合装置であっても構わない。

[0098] 水分子を除きOH基のみを効率良く配列させれば、100℃以下で接合させることが可能となる。また、窒素を含んだ反応ガスでプラズマ処理後半に化学処理すれば常温でも接合が可能となり好ましい。また、前記処理工程後、接合工程前に大気圧下の水分子または水素を含んだガス中に暴露する吸着工程後、接合する前記に記載の方法及び接合装置からなる。処理工程の後、大気圧下の水分子または水素を含んだガス中に暴露することにより、接合表面は、水分子や水素が少ない減圧プラズマ中と比べ、容易に水分子や水素を吸着してOH基を並べ、水素結合し易くなる。

[0099] また本発明は、被接合物の少なくとも一方がSiまたはガラス、 SiO_2 、セラミック系を含む酸化物である請求項1〜15のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項16)。

[0100] また本発明は、被接合物の少なくとも一方がSiまたはガラス、 SiO_2 、セラミック系を含む酸化物である請求項19〜34のいずれかに記載の接合装置からなる(請求項35)。

[0101] 従来の方法に記載したように、Arイオンでのエッチングによる表面活性化方法は低温で接合できる方法であるが、表面の有機物や酸化膜除去して金属の電気的活性化された面を作りだし原子間力により接合するため、金属以外の半導体や特に酸化物の接合では強固な本接合は難しく、仮接合には適する。よって、本発明は金属でないSiなどの半導体や、特に酸化物を含んだ SiO_2 、ガラス、セラミックに対して常温での仮接合性と陽極接合による本接合によりSi-Oなどの共有結合がし易く接合強度も上がるため本発明方式が適する。また、常温接合ではSi同士の接合においても 10^{-8} Torrという高真空な状態が必要となるが、プラズマ処理方式では 10^{-2} Torr程度の真空度で容易に扱うことができるため好ましい。特に適する組み合わせはSiとガラスからなる組み合わせが陽極接合による本接合によりSi-Oなどの共有結合がし易く接合強度も上がるため好適である。また、親水化処理による接合にも適するので、好適である。

[0102] また本発明は、請求項1〜17のいずれかに記載の接合方法により作成され、被接合物がウエハーまたはウエハーから切り出されたチップである半導体デバイスまたは

MEMSデバイスなどのデバイスからなる(請求項18)。

[0103] 半導体においてSiは基材として用いられるため本方式は特に適する。また、半導体とパッケージとの封止や接合においても絶縁体であるガラス、セラミック、 SiO_2 は頻繁に用いられ有効である。具体的には、半導体の製造工程であるウエハー上でハンドリングして張り合わせるとが一番有効であるが、ダイシング後のチップ状態でも適する。

[0104] 低温での接合が可能となり、イオン注入後、高温加熱するとイオンが抜けてしまうため、熱に弱い半導体デバイスには好適である。異種材料を重ね合わせるMEMSデバイスでは従来接合時の高温加熱によりひずみが生じ、一方がアクチュエータの場合は動作に不良が起こる。しかし、本方式においては低温で接合できるため、熱によるひずみが押さえられ好適である。また、圧力センサーなどでは、従来ガラスとSiの接合であったため、接合時の高温加熱によるひずみがデバイスの信頼性に影響を与えていた。本方式においては低温で接合できるため、ひずみなく信頼性の高いMEMSデバイスを作ることができ好適である。

発明の効果

[0105] 本発明の効果はエネルギー波により表面活性化した後、陽極接合することにより、より低温で、かつ、接合強度をアップすることであり、また、表面活性化による仮接合後に工程または装置を分離した陽極接合で本接合することにより、生産効率をアップし、その発生しない3層構造の接合を可能とするところにある。

[0106] また、両被接合物を同じ真空チャンバー内で対向配置して処理することで1チャンバーで全処理が可能となる。

図面の簡単な説明

[0107] [図1]本発明の一実施態様に係る接合装置の概略構成図である。

[図2]一実施態様における実際の接合過程を示す図である。

[図3]2視野の認識手段を用いた大気中でのアライメント構成図である。

[図4]IR認識手段を用いた真空中でのアライメント構成図である。

[図5]従来工法とArプラズマ処理後の比較グラフである。

[図6]接合の比較グラフである。

[図7]仮接合装置、本接合装置を効率よく構成した図である。

[図8]封止を伴うデバイス図である。

[図9]加熱によるそりを示す図である。

[図10]親水化処理による接合化学式を示す図である。

[図11]ステージスライド式仮接合装置図である。

[図12]変形例における装置の概略構成図である。

符号の説明

- [0108]
- 1 Z軸
 - 2 ピストン型ヘッド
 - 3 チャンバー壁
 - 4 摺動パッキン
 - 5 固定パッキン
 - 6 上部電極
 - 7 上ウエハー
 - 8 下ウエハー
 - 9 下部電極
 - 10 チャンバー台
 - 11 吸入口
 - 12 排出口
 - 13 吸入バルブ
 - 14 排出バルブ
 - 15 真空ポンプ
 - 16 ガス切替弁
 - 17 ガスA
 - 18 ガスB
 - 19 マーク読みとり用透過部
 - 20 アライメントテーブル
 - 21 ガラス窓
 - 22 IR認識手段

- 23 上マーク
- 24 下マーク
- 25 2視野認識手段
- 26 プリズム
- 27 上マーク認識手段
- 28 下マーク認識手段
- 100 ガラス
- 101 シリコン
- 201 トルク制御式昇降駆動モータ
- 202 Z軸昇降機構
- 203 θ 軸回転機構
- 204 圧力検出手段
- 205 ベローズ
- 206 XYアライメントテーブル
- 207 ヘッド
- 208 ステージ
- 209 下ウエハー
- 210 上ウエハー
- 211 真空チャンバー
- 212 ヘッド側認識手段
- 213 ステージ側認識手段
- 214 ガラス窓
- 215 排気管
- 216 排気弁
- 217 真空ポンプ
- 218 吸気管
- 219 吸気弁
- 220 吸入ガス切り替え弁

221 Ar

222 O₂

223 大気

227 上アライメントマーク

228 下アライメントマーク

229 スライド移動手段

発明を実施するための最良の形態

[0109] この実施形態では、被接合物であるウェハーをプラズマにより表面活性化し、仮接合させ、工程を分けた本接合において陽極接合を行う方法及び接合装置である。以下に本発明の望ましい実施の形態について、図面を参照して説明する。図7に本発明の一実施形態として表面活性化による仮接合と陽極接合による本接合を分離して生産効率をアップさせる構成を示す。

[0110] 図7に示すように、エネルギー波処理装置としてプラズマ処理装置Aで接合表面を表面活性化し、真空中での常温仮接合を、仮接合装置Bで行い、大気中での加熱本接合を本接合装置Cを複数台(図7では3台)でバランスさせて生産効率を上げている。

[0111] また、プラズマ処理装置Aと仮接合装置Bは同一装置でも構成できる。図1にプラズマ処理装置Aと仮接合装置Bを同一装置とした本発明の一実施形態に係るガラスとSiのウェハーを仮接合または、本接合となる陽極接合まで行うウェハー接合装置を示す。この実施形態では、被接合物であるガラスウェハーを上部にSiウェハーを下部に上下に対向して保持させた状態でチャンバーを閉じ、真空中でArプラズマによりエッチング後、両被接合物を接触させ接合させる。また、本接合まで行う場合は、電圧を印加して陽極接合させ、場合によっては加熱によりガラスを軟化させ接合面積を上げて強度アップさせる装置である。

[0112] 装置構成は、図1に示すように、ガラスからなる上ウェハー7を保持し、Z軸1により昇降制御と加圧制御を行うヘッド部と、Siからなる下ウェハー8を保持し、場合によってはウェハーをアライメントするステージ部に分けられる。Z軸1には圧力検出手段が組み込まれ、Z軸サーボモータのトルク制御へフィードバックすることで加圧力制御を

行う。別途アクチュエータにより昇降可能なチャンバー壁3が下降し、チャンバー台10に固定パッキン5を介して接地した状態で真空に引き、反応ガスを導入してプラズマ処理を行い、ヘッド部が下降して両ウエハーを接触加圧させ、陽極電源に切り替えて電圧を印加し陽極接合する構成となっている。チャンバー壁3を昇降可能にリングで封止しているが、シャフトの細くなったところで受けてもピストン外周で受けても良い。また、場合によっては上部電極6、下部電極9は加熱ヒータも備えており、接合時に加熱することもできる。

[0113] 図2に1台でプラズマ処理から陽極接合による本接合までを連続して行う一実施例を示す。動作を順を追って説明すると、図2(a)のようにチャンバー壁3が上昇した状態でガラスからなる上ウエハー7を上部電極6に保持させる。続いてSiからなる下ウエハー8を下部電極9に保持させる。保持させる方法はメカニカルなチャッキング方式もあるが、静電チャック方式が望ましい。続いて、同図(b)に示すようにチャンバー壁3を下降させ、チャンバー台10に固定パッキン5を介して接地させる。チャンバー壁3は摺動パッキン4により大気と遮断されているので、吸入バルブ13を閉止した状態で排出バルブ14を空け、真空ポンプ15により真空引きを行うことでチャンバー内の真空度を高めることができる。

[0114] 次に、図2(c)に示すように、チャンバー内をArからなる反応ガスで満たす。真空ポンプ15は動作させながら排出バルブ14の排出量と吸入バルブ13でのガス吸入量をコントロールすることである一定の真空度に保ちながら反応ガスで満たすことが可能である。同図(d), (e)に示すように、本方式では、まずArガスを充満させ、 10^{-2} Torr程度の真空度で下部電極9に交番電源プラズマ電圧を印加することでプラズマを発生させ、下部ウエハー8表面をArプラズマによりエッチングし洗浄する。続いて、上部電極6に同様な交番電源を印加することで上部ウエハーをArプラズマによりエッチングし洗浄する。次に、図2(b)のようにチャンバー内を真空に引きArを排出する。場合によっては両電極を100℃程度に加熱しながら真空引きを行うことにより表面に付着したり部材内部に打ち込まれたArを排出する。

[0115] 続いて、図2(f)に示すように、真空中でチャンバー壁3とZ軸1とが摺動パッキン4で接しながらピストン型ヘッド2がZ軸1により下降され、両ウエハーを真空中で接触さ

せ、ガラスからなる上ウエハー7を保持している上部電極6をカソードとして下部電極9との間に陽極電源の電圧を印加し、接合界面でSi-Oなどの共有結合を起させ陽極接合させる。チャンバー内はチャンバー壁3とZ軸1との間の摺動パッキン4により外部雰囲気と遮断され、真空中に保持された状態でピストン型ヘッド部が下降することができる。また、場合によっては同時に両電極に仕込まれたヒータにより200℃から400℃に加熱し、強度アップを行う。

[0116] その後、図2(h)に示すようにチャンバー内に大気を供給し大気圧に戻して、ヘッド部を上昇させ、接合された両ウエハーを取り出す。Arと大気または窒素、酸素などの2種類のガスを1チャンバーで切り替える方法の場合はガス切替弁16にてArと大気ガスを選択して供給することができる。まずArを選択して充填した後、吸入バルブ13を閉じてチャンバー内を真空引きしArを排出した後、ガス切替弁16にて大気ガスに切り替え、吸入バルブ13を開き、チャンバー内を大気で充満させ、チャンバーを開く時に大気解放させることができる。

[0117] また、場合によっては、接合に際し、両ウエハー7、8の位置をアライメントした後、接合する場合もある。図3に真空引きする前にアライメントする方法を示す。上ウエハー7にはアライメント用の上マーク23が2箇所につけられ、下ウエハー8にはアライメント用の下マーク24が同様な位置2箇所につけられている。両ウエハー7、8の間に2視野の認識手段25を挿入し、上下のマーク位置を認識手段25で読み取る。2視野の認識手段25は上下のマーク像をプリズム26により分岐し、上マーク認識手段27と下マーク認識手段28に分離して読み取る。認識手段25はX軸、Y軸と場合によってはZ軸を持ったテーブルで移動され、任意の位置のマークを読み取ることができる。その後、アライメントテーブル20により下ウエハー8の位置を上ウエハー7の位置に補正移動させる。移動後、再度2視野の認識手段25を挿入して繰り返して補正し、精度を上げることも可能である。

[0118] 図4に真空引きした後の接合する前にでもアライメントできる方法を示す。高精度に両被接合物をアライメントする必要がある場合には、プラズマ処理する工程の後、アライメントしてやる必要がある。これは、プラズマ処理の発熱により、被接合物や被接合物保持手段が熱膨張により位置ずれを起こすためであり、プラズマ処理後に両被

接合物の位置を認識手段により認識してアライメントすることで位置ずれ無く数 μm 以内の高精度な接合が可能となる。

[0119] アライメントのための被接合物を平行移動及び／または回転移動させる手段は真空チャンバー内に設けることが精度上好ましく、両被接合物の位置を認識する認識手段となる光学系や撮像素子はチャンバーにガラス窓を設けることによりチャンバー外に設けることが好ましい。光学系や撮像素子は真空中で使用できないものも多く、精度を維持するためには外部大気中に設置することが好ましい。また、アライメントのための移動手段は外部からの操作では微少な移動を行うことは難しく、高精度を出すためにはチャンバー内に設けることが好ましい。また、プラズマ処理工程とアライメント工程及び／または仮接合工程を個別のチャンバーで行い、クラスター構造として真空中の搬送手段でつなげることも可能ではあるが、複雑で高価な装置となってしまう。

[0120] これを図1に示すような装置構成で、かつ、図4に示すようなアライメント方法を用いることで1つのチャンバーで連続して行うことが可能となり、装置の簡易化コストダウンが可能となる。また、連続して行うことで付着物を最小限に抑えることができる。上ウエハー7にはアライメント用の上マーク23が2箇所につけられ、下ウエハー8にはアライメント用の下マーク24が2箇所につけられている。上下マークは重なっても同視野で認識できるような形状となっている。プラズマ処理後の両ウエハーを近接させ、マーク読みとり用透過部19とガラス窓21を透過してIR(赤外)認識手段22により下ウエハーを透過して金属でつけられた上下のアライメントマークを同時に認識して位置を読み取る。焦点深度が合わない場合は、IR認識手段22を上下移動させて読み取る場合もある。

[0121] IR認識手段22はX軸、Y軸と場合によってはZ軸を持ったテーブルで移動され任意の位置のマークを読み取るができるようにしても良い。その後、アライメントテーブル20により下ウエハー8の位置を上ウエハー7の位置に補正移動させる。移動後、再度IR認識手段22により繰り返して補正し、精度を上げることも可能である。IR認識方式はSi同士の接合にも使用できる。また、ガラスを下にSiを上保持した場合は、可視光でもアライメントが可能である。酸素プラズマ処理後、 H_2O またはH、OH基を

含むガスに置換した後接合する方法として、水ガスが容易であるが、 H_2O 分子ビーム、水素ガスなども用いることができる。

[0122] Arプラズマにてエッチングすることが効率上好ましいが、窒素、酸素など他のガスで表面活性化処理することも可能であり、本発明に含む。特に、親水化処理により仮接合する場合は、酸素や窒素プラズマが使用され、接合表面にOH基を配置して表面活性化し、両ウエハーを接触させ、水素結合させる。加熱を併用すれば共晶結合へと強度アップしていく。また、本装置を仮接合装置として使用し、また、表面活性化による仮接合後に工程または装置を分離した陽極接合で本接合することにより、生産効率をアップし、その発生しない3層構造の接合を可能とすることもできる。上記フローに追記して説明すると、Arプラズマ処理の後、図2(c), (d), (e)に示す動作を、Arに替わって酸素ガスを供給することで表面を酸素プラズマ処理する。Arと酸素の2ガスを1チャンバーで切り替える方法はガス切替弁16にてArと酸素ガス(O_2)を選択して供給することができる。まずArを選択して充填した後、吸入バルブ13を閉じてチャンバー内を真空引きしArを排出した後、ガス切替弁16にて酸素ガスに切り替え、吸入バルブ13を開き、チャンバー内を酸素ガスで充満させる。また、このガス切替弁16は大気を吸入させることもできるのでチャンバーを開く時に大気解放させることもできる。次に、水ガスを供給し、場合によっては反応ガスとしてプラズマ処理し、表面を親水化処理する。

[0123] 続いて、図2(f)に示すように、真空中でチャンバー壁3とZ軸1とが摺動パッキン4で接しながらピストン型ヘッド2がZ軸1により下降され、両ウエハーを真空中で接触させ、水素結合力により仮接合させる。仮圧着本圧着一括接合させる装置として使用する場合は、図2(g)に示すように両電極6, 9間に電圧を印加しながら加熱し、陽極接合を行う。チャンバー内はチャンバー壁3とZ軸1との間の摺動パッキン4により外部雰囲気と遮断され、真空中に保持された状態でピストン型ヘッド部が下降することができる。また、場合によっては同時に両電極に仕込まれたヒータにより加熱し、強度アップを行う。その後、図2(h)に示すようにチャンバー内に大気を供給し大気圧に戻して、ヘッド部を上昇させ、接合された両ウエハー7, 8を取り出す。

[0124] IR認識手段22にてマークを読み取る構成において、マーク読みとり用透過部19や

ガラス窓21、アライメントテーブル間の空間などにおけるIR光源の通り道は、空間やガラスに限らず、IR光を透過する材質で構成されていればよい。また、反射光のみならずIR認識手段22の反対側に光源を用いて透過光としても良い。

- [0125] プラズマ処理する方法として交番電極面のウエハーを洗浄するのが効率上好ましいが、均一性やダメージ軽減から電極をウエハー以外の場所に設置しウエハーを洗浄する場合もある。
- [0126] 次にプラズマ処理を、ウエハーを対向配置した位置で行わず、スライドさせた位置で行う仮接合装置を図11に示す。この仮接合装置は、図11に示すように構成され、上ウエハー210を保持するヘッド207と下ウエハー209を保持するステージ208が真空チャンバー211中に配置され、ヘッド207はトルク制御式昇降駆動モータ201が連結されたZ軸昇降機構202とZ軸昇降機構202を回転させる θ 軸機構203と、ヘッド207をXY水平方向へアライメント移動させるXYアライメントテーブル206とが設けられている。圧力検出手段204により検出された接合時の加圧力をトルク制御式昇降駆動モータ201にフィードバックすることで位置制御と圧力制御が切り替えながら行えるようになっている。XYアライメントテーブル206は真空中でも使用できる手段を使用するが、Z、 θ 軸機構は真空チャンバー外部に設置するため、ベローズ205により移動可能にヘッド部と外部が遮断されている。
- [0127] ステージ208は接合位置と待機位置間をスライド移動手段229によりスライド移動することができる。スライド移動手段229には高精度なガイドと位置を認識するリニアスケールが取り付けられており、接合位置と待機位置間の停止位置を高精度に維持することができる。この移動手段229はいかなる構成であっても良い。
- [0128] ヘッド207及びステージ208の被接合物保持手段としては、メカニカルなチャッキング方式であっても良いが、静電チャックを設けることが好ましい。また、加熱のためのヒータを備え、プラズマ電極ともなっており、保持手段、加熱手段、プラズマ発生手段の3つの機能を備える。
- [0129] 減圧手段としては、排気管215に真空ポンプ217がつながれ、排気弁216により開閉と流量調整が行われ、真空度を調整可能な構造となっている。また、吸入側は、吸気管218に吸入ガス切り替え弁220が連結され吸気弁219により開閉と流量調整が

行われる。吸入ガスとしてはプラズマの反応ガスを2種類連結でき、例えばAr221と酸素(O_2)222をつなぐことができる。また、混合ガスの配合を変えたガスを連結することもできる。もう一つは大気圧解放用の大気223または水分子を含んだ窒素がつながれる。大気圧を含めた真空度や反応ガス濃度は、吸気弁219と排気弁216の開閉を含めた流量調整により最適な値に調整可能となっている。

[0130] アライメント用の光学系からなるアライメントマーク認識手段がステージ待機位置の上方とヘッド下方に真空チャンバー211外部に、それぞれステージ側認識手段213、ヘッド側認識手段212として配置される。これら認識手段は最低ステージ、ヘッド側に1つずつあれば良く、チップのような小さなものを認識するのであれば、アライメントマーク227、228が θ 方向成分も読みとれる形状や2つのマークを1視野内に配置することで1つの認識手段でも十分読み取ることができる。また、認識手段は、例えば可視光やIR(赤外)光からなる光学レンズをともなったカメラからなる。

[0131] 真空チャンバー211には認識手段の光学系が透過できる材質、例えばガラスからなるガラス窓214が配置され、そこを透過して真空チャンバー211中の被接合物のアライメントマーク227、228を認識する。また、ナノレベルにより高精度にファインアライメントする場合は、粗位置決めを行った後、上ウエハー210と下ウエハー209を数 μm 程度に近接させた状態でヘッド側認識手段212に可視光、IR(赤外)兼用認識手段を使用し、ステージのアライメントマーク位置には透過孔や透過材を設けることで、下部からステージを透過して両ウエハー上のアライメントマークを同時認識して再度X、Y、 θ 方向へアライメントすることができる。

[0132] このような仮接合装置により、上ウエハー210と下ウエハー209をスライドさせた位置でプラズマ処理することで、エッチングされた物質が対向ウエハーへ再付着することを防止したり、ウエハーと対向した面を電極とすることでエッチング力を弱めて化学処理を増進させOH基を付着しやすくすることができる。プラズマ処理後は下部ステージが上部ウエハーと対向する位置までスライドし、上記と同様の接合処理を行う。

[0133] また、エネルギー波処理がプラズマ以外のイオンビームや原子ビームである場合には図11の装置にビーム照射装置を2つ取り付けて、スライドさせた位置で斜めからウエハー表面に個別に照射させればよい。

- [0134] 前述の仮接合装置は、もちろん、プラズマなどエネルギー波処理を専用装置で行い、エネルギー波処理を除いた仮接合装置として使用することもできる。
- [0135] 次に本接合装置について説明する。本接合装置はすでに仮接合装置において、真空封止やガス封入された状態であるので、大気中で電圧を印加し、加熱するだけの簡易な装置でもよい。陽極接合装置として電圧を印加して加熱によりガラスを軟化させ、ゴミの噛み込みや材料の凹凸、うねりによる隙間を埋めて接合面積を上げて強度アップさせることができる。この簡易な本接合装置を図7(c)に示すように複数台並べることで生産効率をアップさせ、コストダウンをはかることができる。
- [0136] 図9(b)に示すように3つ以上の部材を両側を線膨張係数の等しい材料で挟み込んで位置精度を出して常温仮接合させた後、加熱して本接合することでそりなく高精度に接合することができる。
- [0137] また、プラズマ処理工程をプラズマ処理後半においてエッチング力を弱めてプラズマ処理を行うことにより、親水化処理がうまく行われる。通常のプラズマ処理においては物理処理により不純物を除去し、化学処理により表面にOH基を付けて並べたり、窒素などの置換が行われるが、せっかく表面に化学処理されたにもかかわらずエッチング力が強いので除去され、表面を均一に化学処理することは難しい。
- [0138] そこで、プラズマ処理後半において、エッチング力を弱めてプラズマ処理することにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に化学処理を行い、表面活性化処理を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができ、また、仮接合をしやすくなる。エッチング力を切り替える方法はプラズマのVdc値を切り替えたり、パルス幅を切り替えたり、ウエハーと対向面を電極にしたりすることで行える。

産業上の利用可能性

- [0139] なお、本発明は上記形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない限りにおいて上述したものに対して種々の変更を加えることが可能であり、ウエハーなどの複数の被接合物の接合に広く適用することができ、特にMEMSデバイスに好適である。

請求の範囲

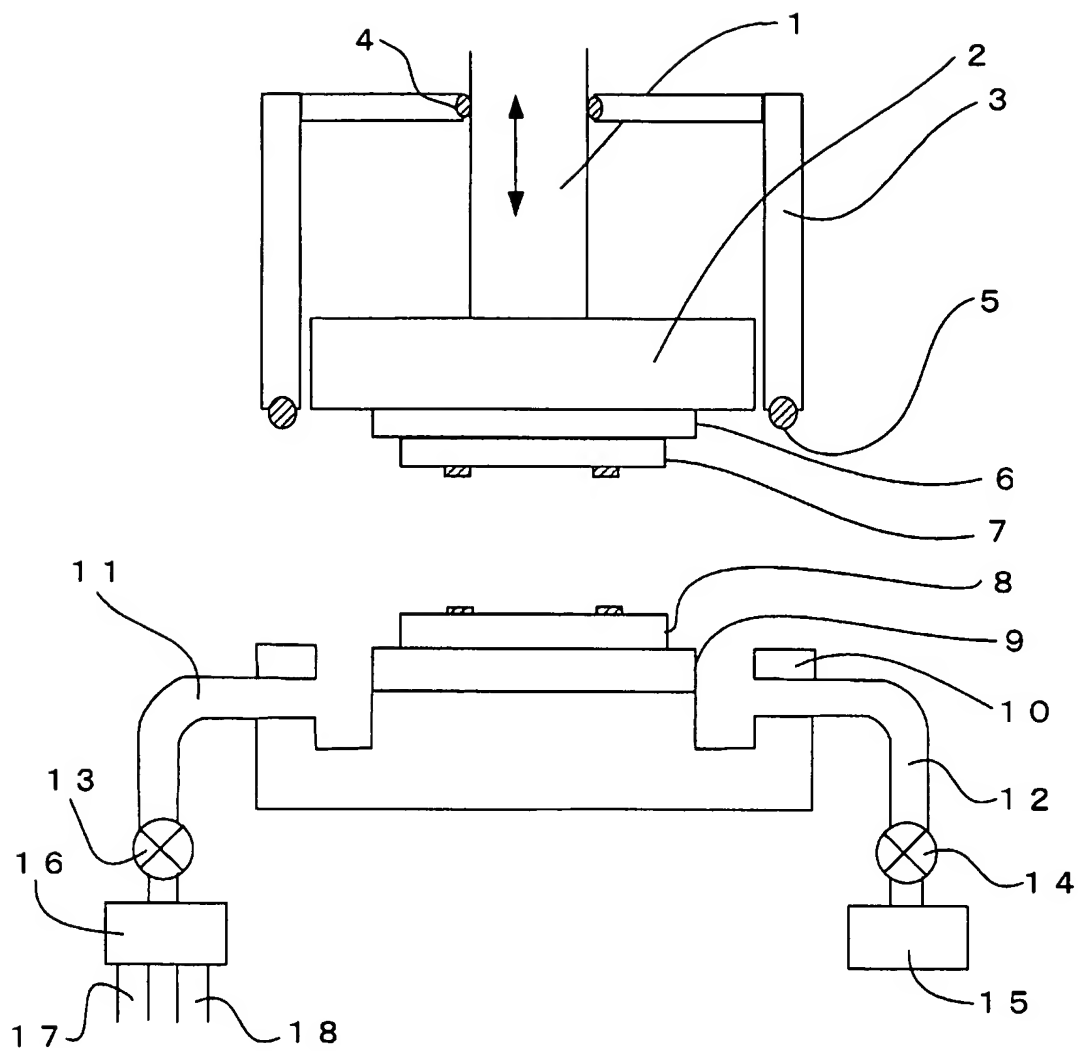
- [1] 被接合物同士の接合面を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるエネルギー波により表面活性化処理した後、両被接合物を陽極接合する接合方法。
- [2] 両被接合物を接合時または接合後に400℃未満で加熱する請求項1に記載の接合方法。
- [3] 前記表面活性化処理した後、大気に暴露することなく両被接合物を陽極接合する請求項1または2に記載の接合方法。
- [4] 前記エネルギー波が減圧プラズマであり、表面活性化処理後、同じチャンバー内で連続して被接合物同士を真空中で接触させ陽極接合を行う請求項3に記載の接合方法。
- [5] 前記エネルギー波によりエッチングする量は1nm以上である請求項1～4のいずれかに記載の接合方法。
- [6] 前記表面活性化処理した後、陽極接合する接合方法であって、常温のもと表面活性化により仮接合した後、工程または装置を分離して陽極接合による本接合を行う請求項1または2に記載の接合方法。
- [7] 前記仮接合の工程の数1に対し、複数の前記本接合の工程をバランスさせる請求項6に記載の接合方法。
- [8] 3個以上の被接合物を重ねて接合する接合方法であって、線膨張係数が等しい被接合物で、線膨張係数の異なる被接合物を両側から挟み込む請求項6または7に記載の接合方法。
- [9] 前記仮接合を減圧チャンバー中で、減圧下またはガス置換された中で接合し、前記本接合を大気中で行う請求項6～8のいずれかに記載の接合方法。
- [10] 前記エネルギー波がプラズマである請求項6～9のいずれかに記載の接合方法。
- [11] 前記プラズマが減圧プラズマであり、処理後、同じチャンバー内で連続して被接合物同士を真空中で接触させ仮接合を行う請求項10に記載の接合方法。
- [12] 前記プラズマにより接合面を親水化処理し、仮接合する請求項10または11に記載の接合方法。
- [13] プラズマにより親水化処理時または処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスを混

入させた後、仮接合する請求項12に記載の接合方法。

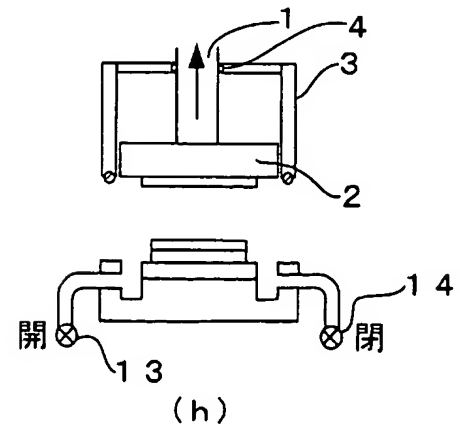
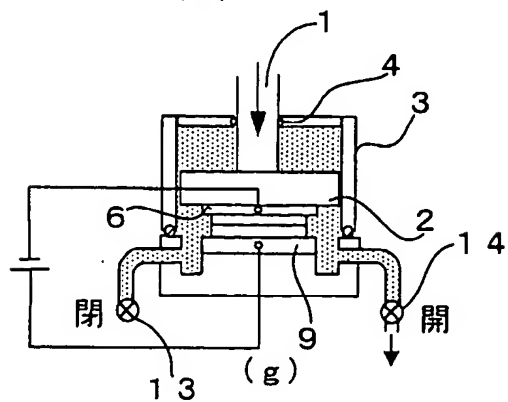
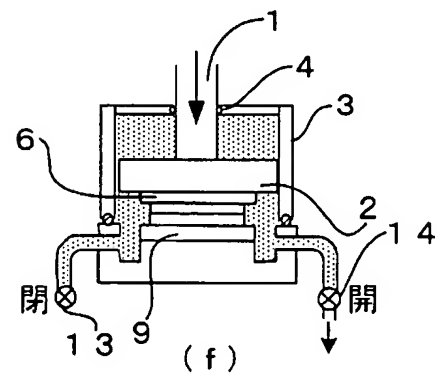
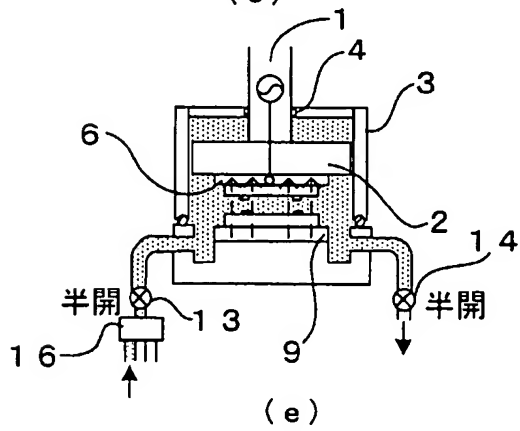
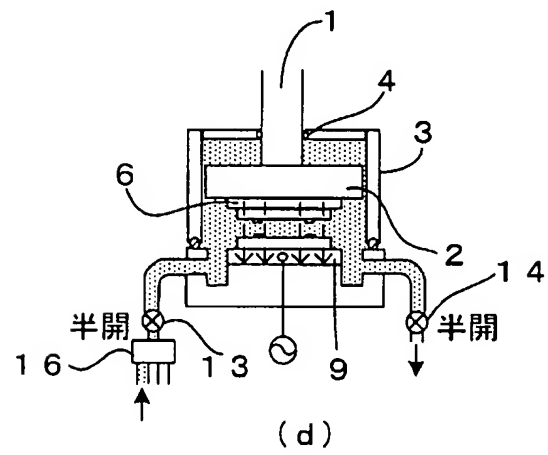
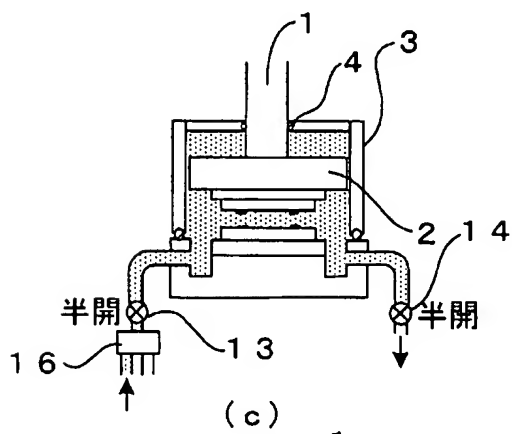
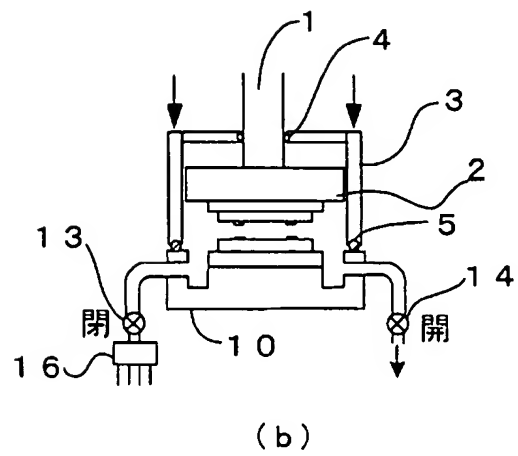
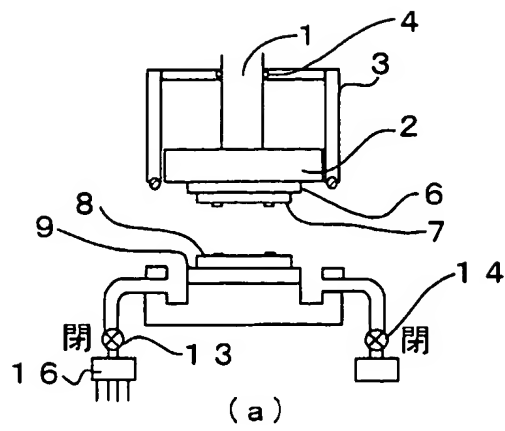
- [14] 前記プラズマによる親水化処理をイオン衝突力を高めた物理処理後、大気に暴露することなくイオン衝突力を弱めた化学処理を行う請求項12または13に記載の接合方法。
- [15] 前記物理処理をArまたはCF₄プラズマにより行う請求項14に記載の接合方法。
- [16] 前記化学処理を酸素または窒素プラズマにて行う請求項14に記載の接合方法。
- [17] 被接合物の少なくとも一方がSiまたはガラス、SiO₂、セラミック系を含む酸化物である請求項1〜16のいずれかに記載の接合方法。
- [18] 請求項1〜17のいずれかに記載の接合方法により作成され、被接合物がウエハーまたはウエハーから切り出されたチップである半導体デバイスまたはMEMSデバイスなどのデバイス。
- [19] 電圧印加手段と、加熱手段とを有し、被接合物同士の接合面を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるエネルギー波により表面活性化処理した後、両被接合物を陽極接合する陽極接合手段を備えた接合装置。
- [20] 両被接合物を接合時または接合後に400℃未満で加熱する請求項19に記載の接合装置。
- [21] エネルギー波処理手段と陽極接合手段とが減圧チャンバー中に備えられ、前記表面活性化処理した後、大気に暴露することなく両被接合物を陽極接合する請求項19または20に記載の接合装置。
- [22] 前記エネルギー波が減圧プラズマであり、プラズマ処理手段と陽極接合手段が同一減圧チャンバー中に備えられ、表面活性化処理後、同じチャンバー内で連続して被接合物同士を真空中で接触させ陽極接合を行う請求項21に記載の接合装置。
- [23] 前記エネルギー波によりエッチングする量は1nm以上である請求項19〜22のいずれかに記載の接合装置。
- [24] 前記表面活性化処理した後、陽極接合する接合装置であって、エネルギー波により表面活性化する活性化手段を備え、常温のもと表面活性化により仮接合した後、工程または装置を分離して陽極接合による本接合を行う請求項19または20に記載の接合装置。

- [25] 前記仮接合を行う装置または工程の数1に対し、複数の前記本接合を行う装置または工程をバランスさせる請求項24に記載の接合装置。
- [26] 線膨張係数が等しい被接合物で、線膨張係数の異なる被接合物を両側から挟み込み、3個以上の被接合物を重ねて陽極接合する接合装置であって、中央部材から両端部材に向けて電圧を同時に印加する手段を持つ請求項24または25に記載の接合装置。
- [27] 減圧チャンバーを備え、前記仮接合を前記減圧チャンバー中で、減圧下またはガス置換された中で接合し、前記本接合を大気中で行う請求項24〜26のいずれかに記載の接合装置。
- [28] 前記エネルギー波がプラズマであり、プラズマ処理手段を備えた請求項24〜27のいずれかに記載の接合装置。
- [29] 前記プラズマが減圧プラズマであり、減圧可能な真空チャンバーとプラズマ発生手段とプラズマ反応ガス供給手段を備え、処理後、同じチャンバー内で連続して被接合物同士を真空中で接触させ仮接合を行う請求項28に記載の接合装置。
- [30] 前記プラズマにより接合面を親水化处理し、仮接合する請求項27または28に記載の接合装置。
- [31] 水ガス発生手段を備え、プラズマにより親水化处理時または処理後、 H_2O または H 、 OH 基を含むガスを混入させた後、仮接合する請求項30に記載の接合装置。
- [32] 被接合物に対するイオン衝突力を切り替える減圧プラズマ処理手段を備え、前記プラズマによる親水化处理をイオン衝突力を高めた物理処理後、大気に暴露することなくエッチング力を弱めた化学処理を行う請求項30または31に記載の接合装置。
- [33] 前記物理処理を Ar または CF_4 プラズマにより行う請求項32に記載の接合装置。
- [34] 前記化学処理を酸素または窒素プラズマにて行う請求項32に記載の接合装置。
- [35] 被接合物の少なくとも一方が Si またはガラス、 SiO_2 、セラミック系を含む酸化物である請求項19〜34のいずれかに記載の接合装置。

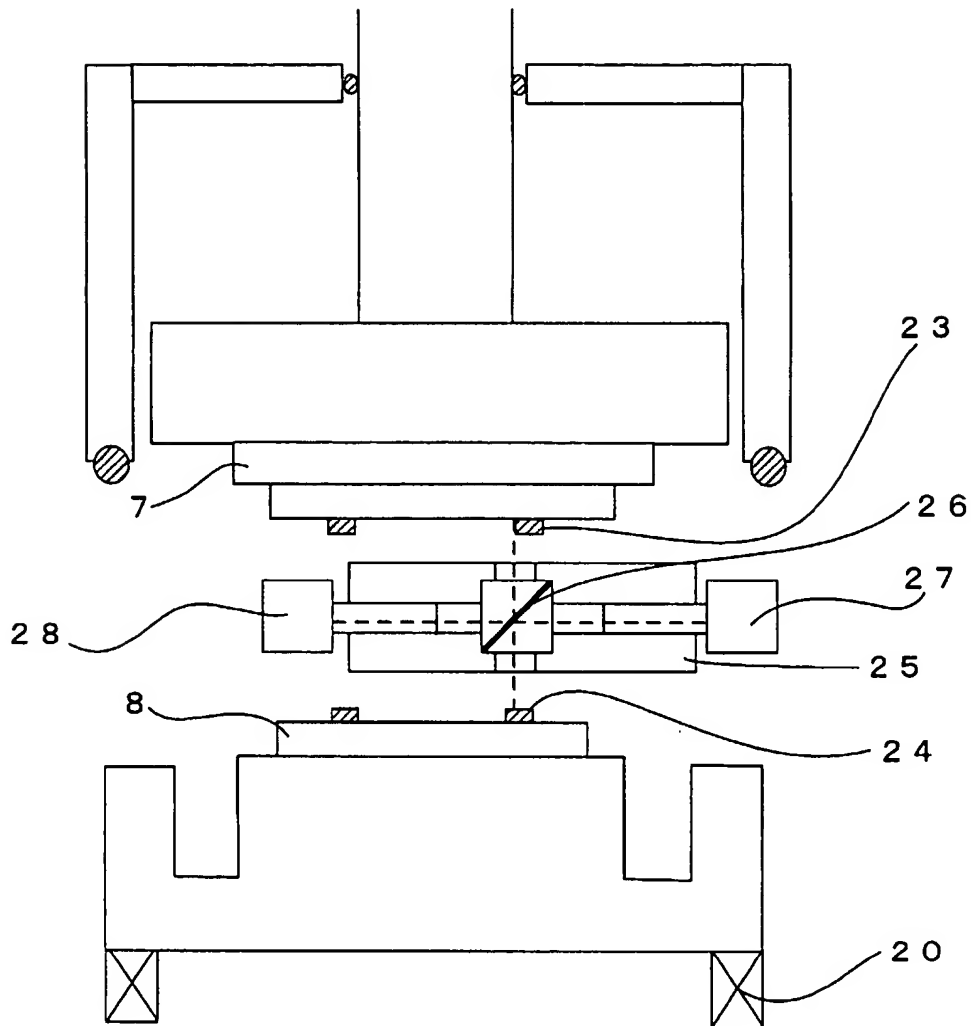
[図1]



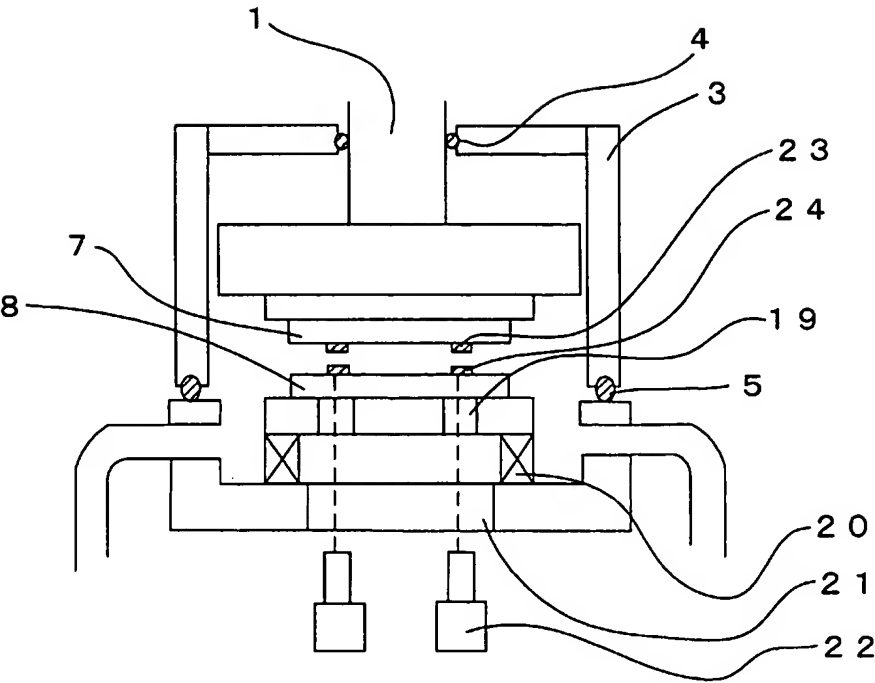
[図2]



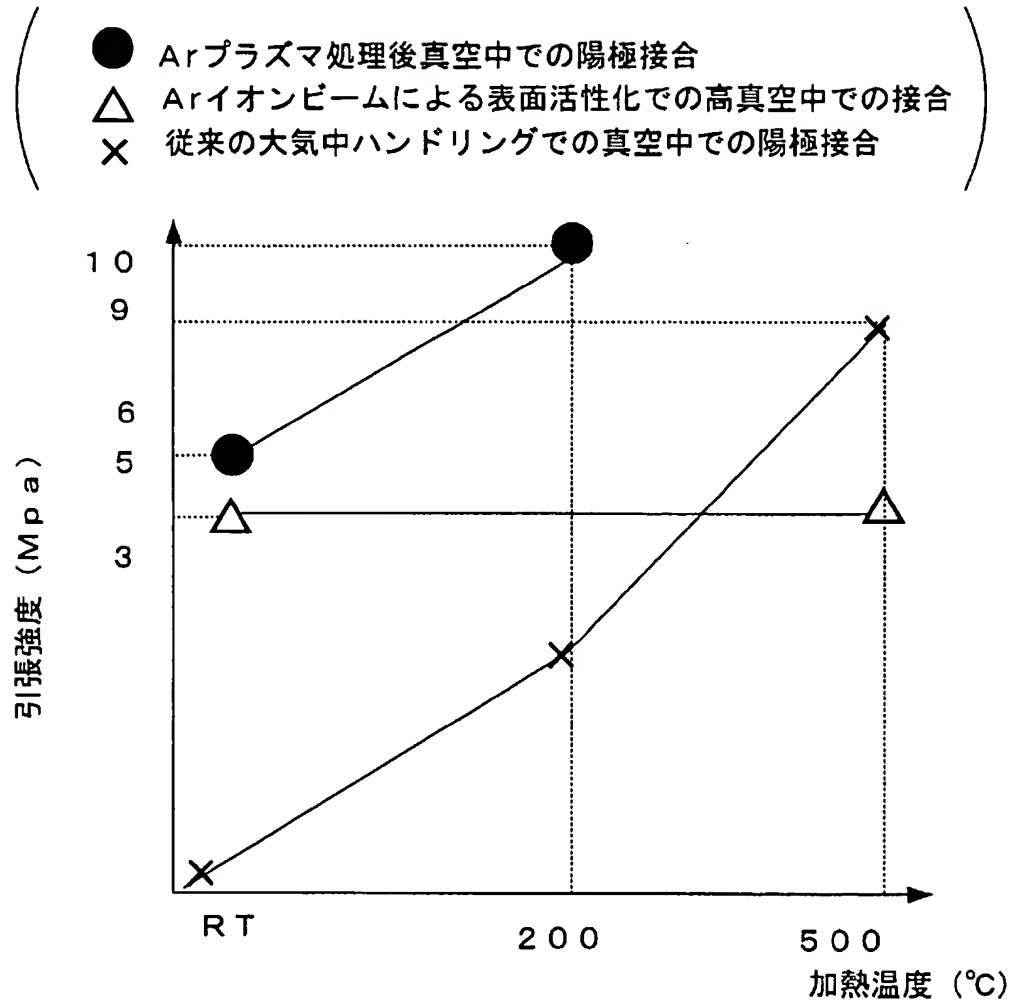
[図3]



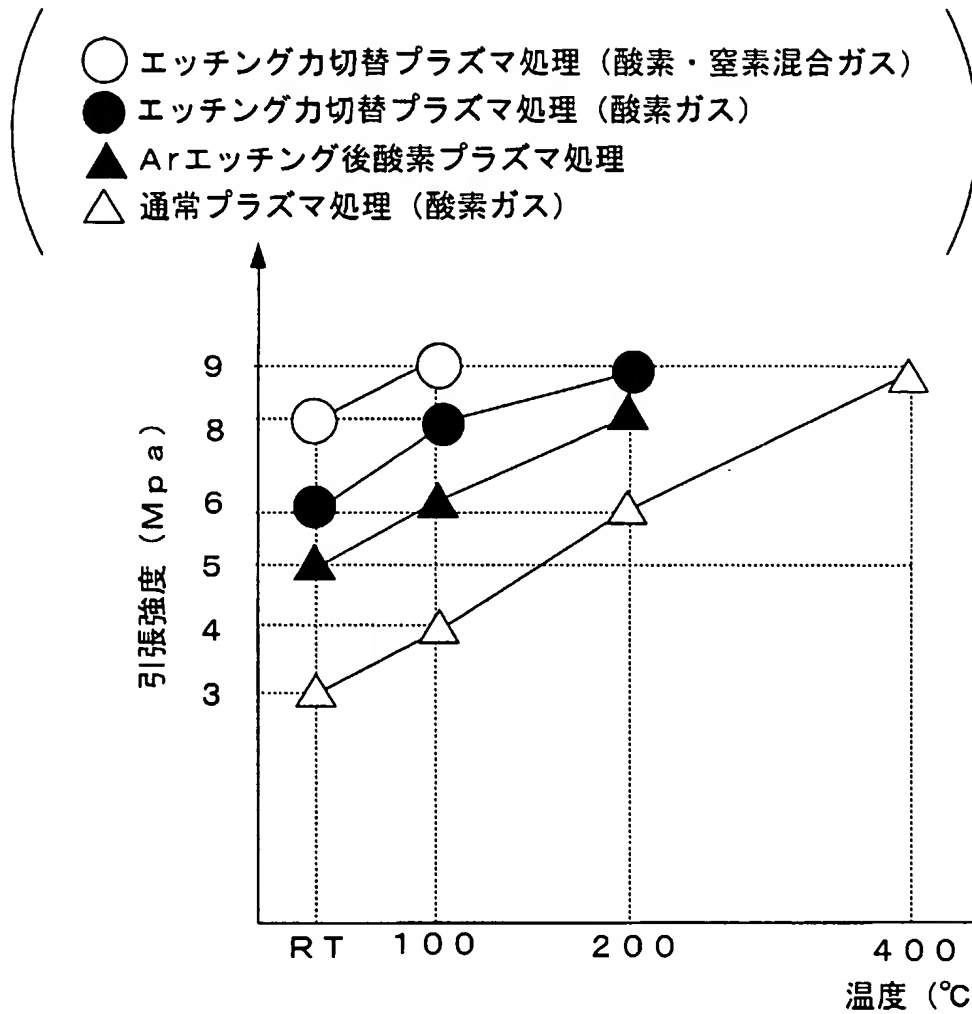
[図4]



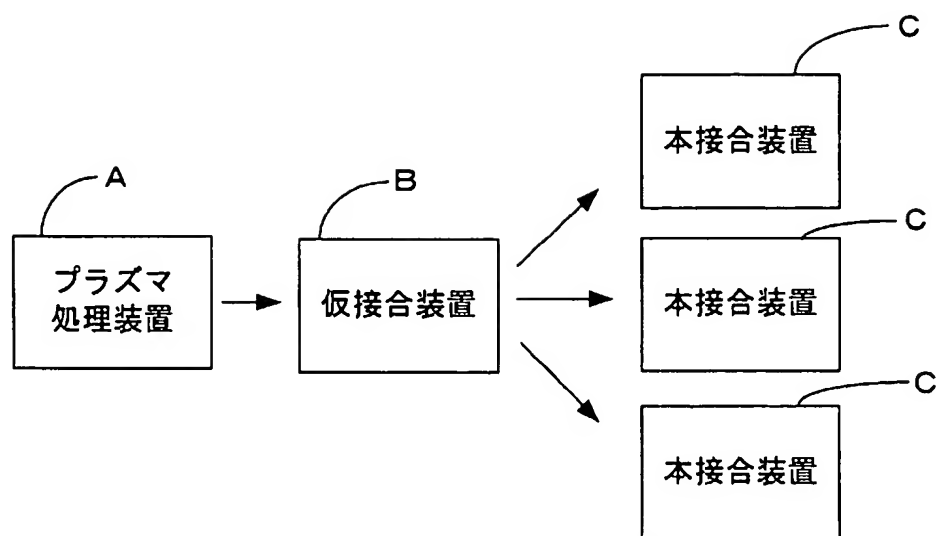
[図5]



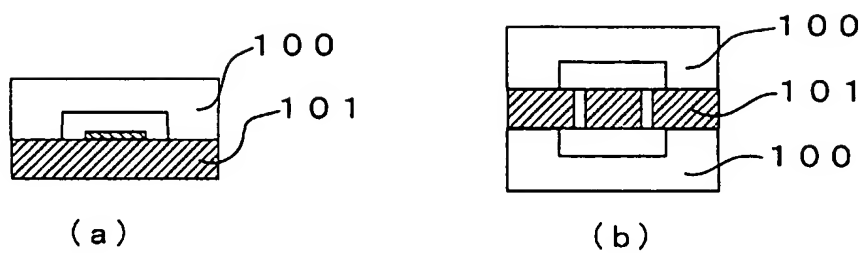
[図6]



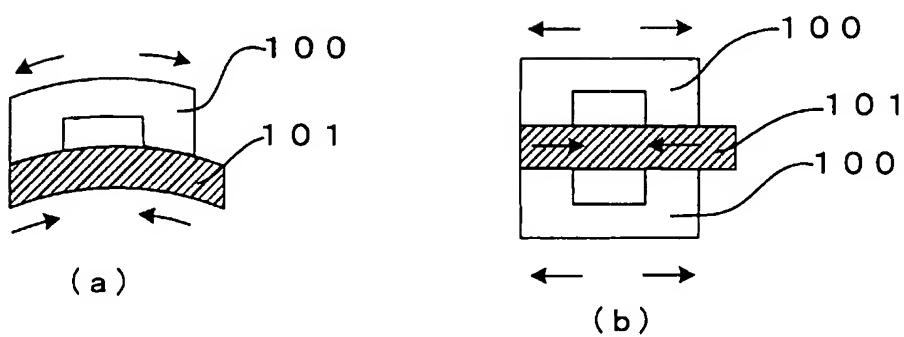
[図7]



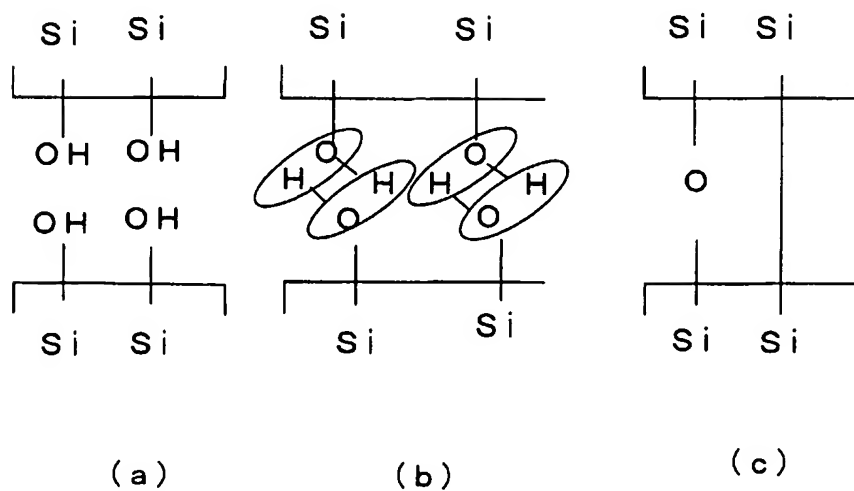
[図8]



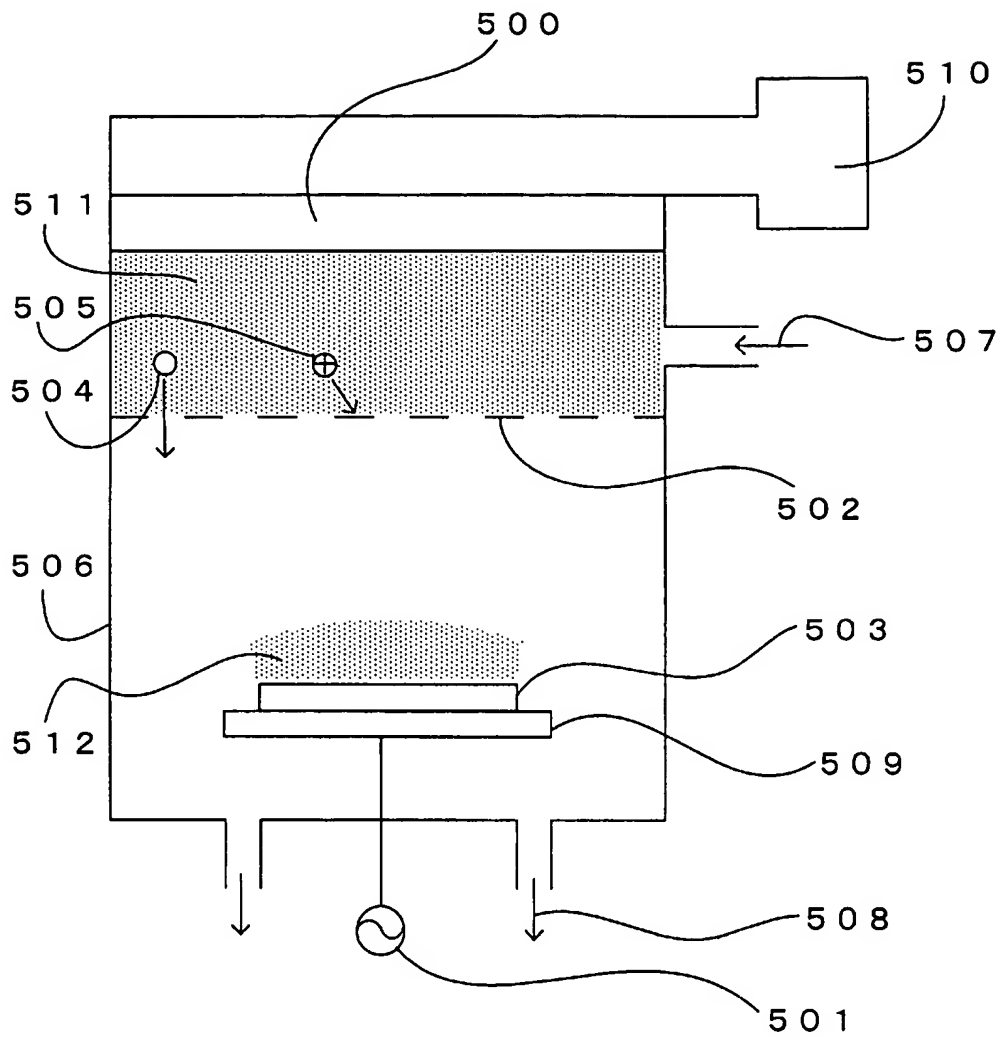
[図9]



[図10]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017930

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ C03C27/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ C03C27/02, B23K20/00-20/26, H01L21/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-259039 A (Fujitsu Ltd.), 29 September, 1998 (29.09.98), Par Nos. [0003] to [0008]; Fig. 2 (Family: none)	1-12, 17-30, 35 13-16, 31-34
Y	JP 11-192712 A (Seiko Epson Corp.), 21 July, 1999 (21.07.99), Claims; Par No. [0016] (Family: none)	1-12, 17-30, 35 13-16, 31-34
Y	JP 2003-318217 A (Toray Engineering Co., Ltd.), 07 November, 2003 (07.11.03), Full text; Fig. 1 & WO 03/001858 A1 Full text; Fig. 1	1-12, 17-30, 35 13-16, 31-34

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
12 January, 2005 (12.01.05)

Date of mailing of the international search report
01 February, 2005 (01.02.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl. ⁷ C03C27/02			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl. ⁷ C03C27/02, B23K20/00-20/26, H01L21/02			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2005年 日本国実用新案登録公報 1996-2005年 日本国登録実用新案公報 1994-2005年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示		関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 10-259039 A (富士通株式会社) 1998. 09. 29, 【0003】-【0008】段落, 図2 (ファミリーなし)		1-12, 17-30, 35
A			13-16, 31-34
Y	JP 11-192712 A (セイコーエプソン株式会社) 1999. 07. 21, 特許請求の範囲, 【0016】段落 (ファミリーなし)		1-12, 17-30, 35
A			13-16, 31-34
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日		国際調査報告の発送日	
12. 01. 2005		01. 2. 2005	
国際調査機関の名称及びあて先		特許庁審査官 (権限のある職員)	
日本国特許庁 (ISA/JP)		大橋 賢一	
郵便番号100-8915		4T 3234	
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		電話番号 03-3581-1101 内線 3416	

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	JP 2003-318217 A (東レエンジニアリング株式会社) 2003. 11. 07, 全文, 図1 & WO 03/001858 A1, 全文, 図1	1-12, 1 7-30, 3 5 13-16, 31-34